

Studien zur ^{14}C -Verteilung im glazialen Ozean mit einem globalen Ozeanzirkulationsmodell

M. BUTZIN, M. PRANGE und G. LOHMANN

Universität Bremen, Fachbereich Geowissenschaften, Geosystem-Modellierung, Bremen, Germany

Wir präsentieren Ergebnisse einer Modellstudie zur Verteilung von Radiokohlenstoff (^{14}C) im glazialen Weltozean. Wir verwenden dabei eine modifizierte Version des Large Scale Geostrophic (LSG) Ozean-Zirkulationsmodells (MAIER-REIMER et al., 1993), die gegenüber der Originalversion eine Reihe von Verbesserungen beinhaltet, wie z.B. ein neues Advektionsschema für Tracer (SCHÄFER-NETH und PAUL, 2001; PRANGE et al., im Druck) und ein Modell für den kontinentalen Abfluss. Die Auflösung des Modells beträgt $3.5^\circ \times 3.5^\circ$ in horizontaler sowie elf Schichten in vertikaler Richtung. Die Kopplung mit der Atmosphäre erfolgt über monatliche Lufttemperaturen, Windschubspannungen und Süßwasserflüsse. Die Antriebsfelder stammen aus Simulationen des Klimas während des letzten glazialen Maximums (LOHMANN und LORENZ, 2000) mit dem Atmosphären-Zirkulationsmodell ECHAM3/T42 (ROECKNER et al., 1992). Radiokohlenstoff wird im Modell wie bei TOGGWEILER et al. (1989) als anorganischer Tracer $\Delta^{14}\text{C}$ behandelt, wobei wir eine quadratische Abhängigkeit des Gasaustausches von der Windgeschwindigkeit ansetzen (wie WANNINKHOF, 1992). Die Integrationszeit in Gleichgewichtsexperimenten beträgt 20000 Modelljahre, so dass ein quasi-stationärer Zustand erreicht ist. Das Modell wurde in Testläufen mit Bomben- ^{14}C (sowie mit heutigem Klimaantrieb) in Anlehnung an die Richtlinien des Ocean Carbon Cycle Model Intercomparison Projekts (ORR et al., 2000) kalibriert.

Unseren Modellläufen zufolge waren im glazialen Ozean die $\Delta^{14}\text{C}$ -Werte an der Meeresoberfläche sowie Bodennähe um 20 - 60‰ niedriger als während des Holozäns (Abb. 1). Dies resultiert aus dem schwächeren meridionalen Overturning im Nordatlantik sowie - in geringerem Maß - aus dem langsameren Gasaustausch mit der Atmosphäre. Rechnet man die Oberflächenkonzentrationen in ^{14}C -Alter (die sogenannten Reservoiralter) um, ergeben sich Reservoiralter von ca. 500 - 2000 Jahre (Abb. 2). Damit ist das glaziale Oberflächenwasser in warmen und gemäßigten Regionen um 200 - 400 Jahre älter als während des Holozäns. In polaren Breiten steigen die Abweichungen auf über 1000 Jahre an.

Um die potenziellen Auswirkungen von Schmelzwasserpulsen zu untersuchen, erhöhten wir in einem transienten Sensitivitätsexperiment den Süßwasserfluss in den Nordatlantik (zwischen 40° - 55°N) schlagartig um 0.2 Sv ($1 \text{ Sv} = 1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) und hielten die Störung über 2000

Jahre konstant aufrecht. Daraufhin brach in den Simulationen die Produktion nordatlantischen Tiefenwassers zusammen. Dies führte im tiefen Nordatlantik zu einer Abreicherung der ^{14}C -Konzentrationen, während die Oberflächenkonzentrationen sowie der globale $\Delta^{14}\text{C}$ -Gehalt der Atmosphäre um ca. 20‰ anstiegen. Dementsprechend stieg das ^{14}C -Alter im Tiefenwasser um bis zu 1000 Jahre an, während das Oberflächen-Reservoiralter sank. Die stärkste Abnahme findet sich im Nordatlantik, wo das Oberflächenwasser um bis zu 400 Jahre jünger wird (Abb. 3).

Unsere Ergebnisse haben praktische Konsequenzen für geologische Studien, in denen eine ^{14}C -Datierung vorgenommen wird. Dabei wird in der Regel ein globaler Mittelwert für das Reservoiralter angesetzt. Stattdessen schlagen wir vor, zukünftig in solchen Studien regional variierende Reservoiralter zu verwenden, die mit Hilfe von dreidimensionalen Ozean-Zirkulationsmodellen gewonnen werden können.

Referenzen

- LOHMANN, G., UND S. LORENZ, S., 2000: On the hydrological cycle under paleoclimatic conditions as derived from AGCM simulations.- J. Geophys. Res. 105, 17417-17436.
- MAIER-REIMER, E., .U. MIKOLAJEWICZ und K. HASSELMANN, 1993: Mean circulation of the Hamburg LSG OGCM and its sensitivity to the thermohaline surface forcing.- J. Phys. Oceanogr. 23, 731-757.
- ORR, J., R. NAJJAR, C. SABINE, und F. JOOS, 2000: Abiotic-HOWTO.- Online-Dokument, <http://www.ipsl.jussieu.fr/OCMIP/phase2/simulations/Abiotic/HOWTO-Abiotic.html>
- PRANGE, M., G. LOHMANN UND A. PAUL, im Druck: Influence of vertical mixing on the thermohaline hysteresis: Analysis of an OGCM.- J. Phys. Oceanogr.
- ROECKNER, E., K. ARPE, L. BENGTSSON, S. BRINKOP, L. DÜMENIL, M. ESCH, E. KIRK, F. LUNKEIT, M. PONATER, B. ROCKEL, R. SAUSEN, U. SCHLESE, S. SCHUBERT UND M. WINDELBAND, 1992: Simulation of the present-day climate with the ECHAM model: Impact of model physics and resolution. MPI Report 93, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, 171 p.
- SCHÄFER-NETH, C., und A. PAUL., 2001: Circulation of the glacial Atlantic: a synthesis of global and regional modeling. - In: SCHÄFER, P., RITZRAU, W., SCHLÜTER, M. und THIEDE, J. (Eds.): The northern North Atlantic: A changing environment, 446-462, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- TOGGWEILER, J.R., K. DIXON und K. BRYAN, 1989: Simulations in a coarse-resolution world ocean model, 1. Steady state prebomb distributions.- J. Geophys. Res. 94, 8217-8242.
- WANNINKHOF, R., 1992: Relationship between wind speed and gas exchange over the ocean.- J. Geophys. Res. 97, 7373-7382.

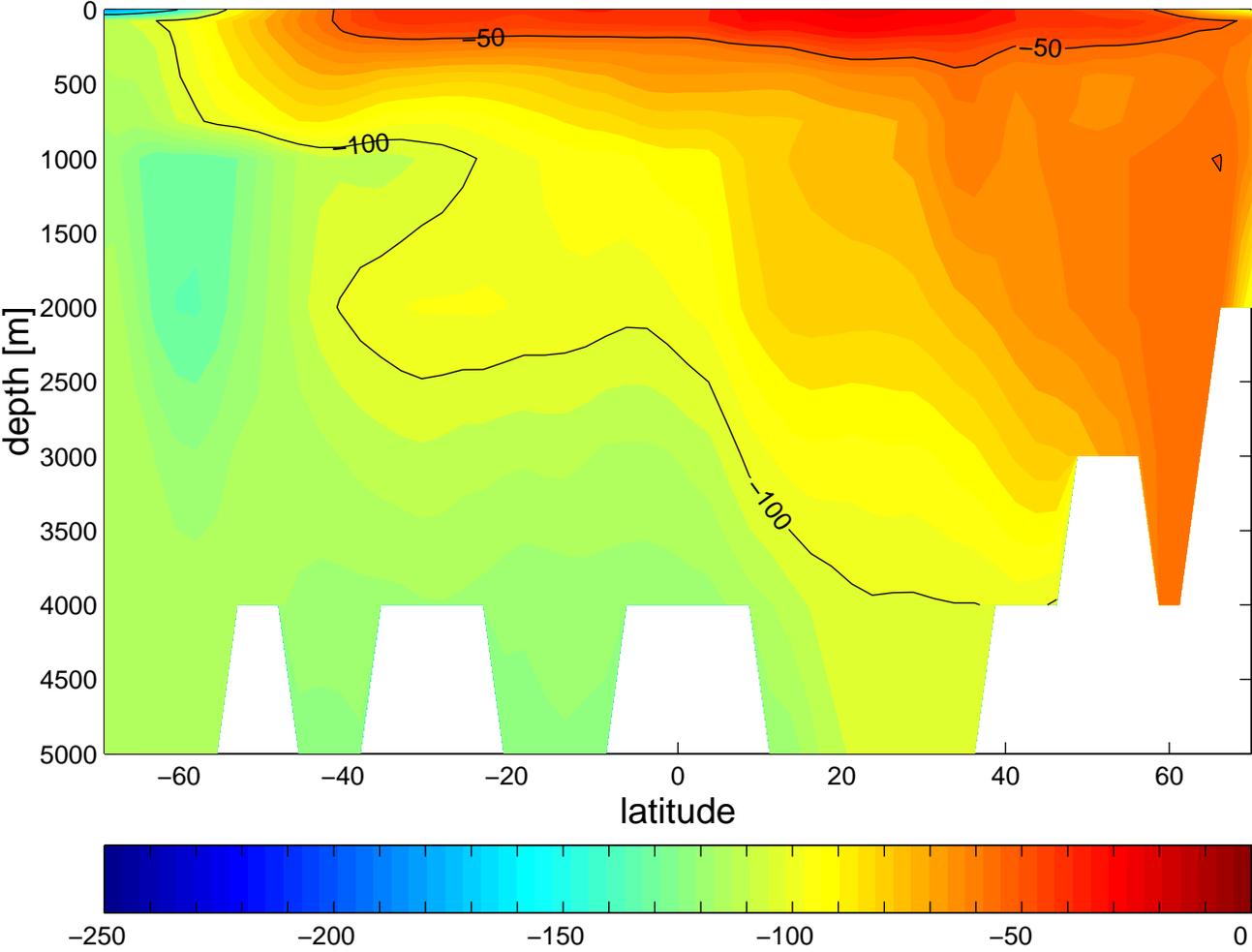
Abbildungen

Abbildung 1: Zonal gemittelte $\Delta^{14}\text{C}$ -Verteilung im Atlantik, links: Holozän-Kontrolllauf, rechts: glazialer Ozean.

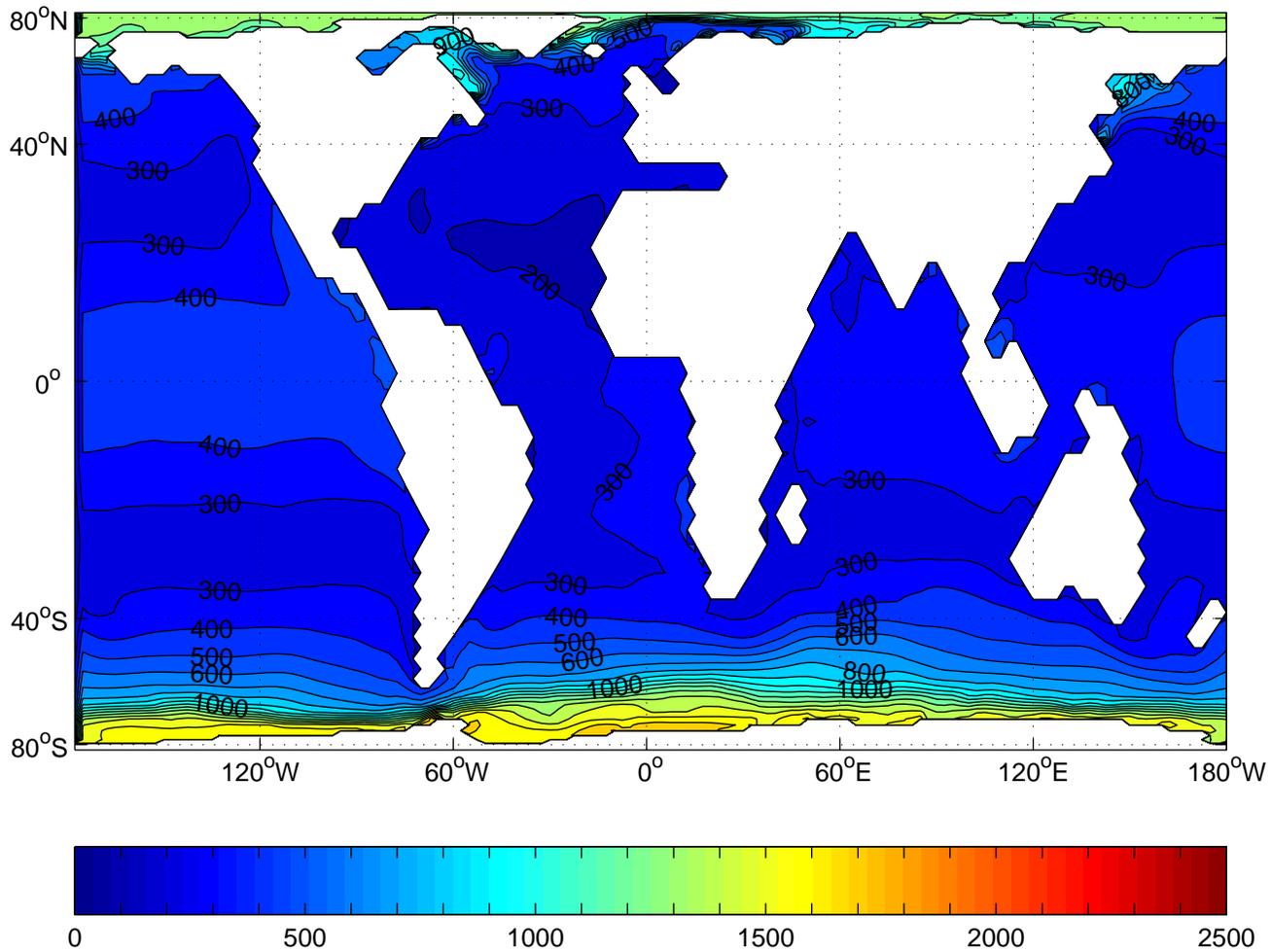
Abbildung 2: ^{14}C -Alter des Oberflächenwassers (sog. Reservoiralter), links: Holozän-Kontrolllauf, rechts: glazialer Ozean.

Abbildung 3: ^{14}C -Alter des Oberflächenwassers (sog. Reservoiralter) im glazialen Ozean am Ende eines Süßwasserpulses ($0.2 \text{ Sv} \times 2000 \text{ Jahre}$, eingebracht in den Nordatlantik).

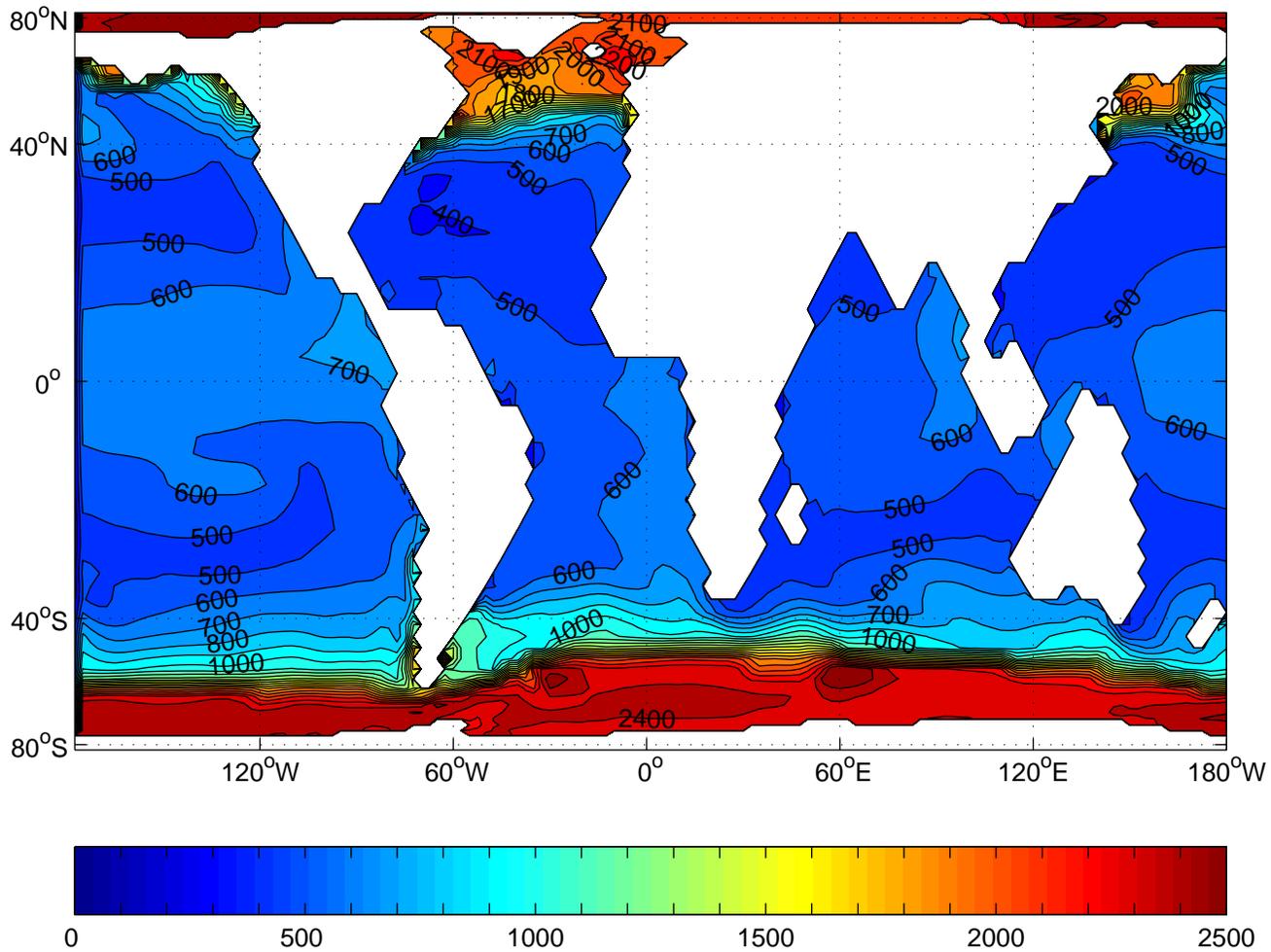
Zonal-mean $\Delta^{14}\text{C}$ (‰), pre-industrial Atlantic



Radiocarbon age (a) of pre-industrial surface water



Radiocarbon age (a) of glacial surface water



Radiocarbon age anomaly (a) of glacial surface water after a freshwater perturbation of the NADW production

